

EVALUACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL BARRIO DE LA VIÑA LORCA POR REHABILITACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICIOS TRAS EL SISMO DE 2011

Martínez Cuevas, S. ¹; San Millán Escribano, M. ^{2*}; Gaspar Escribano, J. ¹; Del Castillo Tello, S. ³; Alguacil Alonso, E. ²; Cervera Bravo, J. ¹; Benito Oterino, B. ¹

¹ Universidad Politécnica de Madrid. UPM

² Escuela de diseño, innovación y tecnología de Madrid. ESNE

³ Instituto Europeo de Diseño. IED

mail@arquitecturaspositivas.com

Resumen

El siguiente trabajo, se ha desarrollado parcialmente en el marco del Programa Estatal de I+D+I orientado a los Retos de la Sociedad del Ministerio de Economía y Competitividad y se divide en 3 secciones, una introductoria en la que se presentan los daños causados por el terremoto de Lorca (Murcia, España) en el área denominada Barrio de la Viña, a través de la visualización tridimensional de la clasificación de daños según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98). En la segunda parte se estiman las cantidades de recursos empleados para *rehabilitar* o *reconstruir* los edificios dañados y por último se muestran cómo *compensar* la *huella de carbono* consumida por la rehabilitación o reconstrucción de los edificios dañados.

Tras la visualización de los daños, se describen en términos cuantitativos, los daños más frecuentes encontrados en edificios construidos dañados por este terremoto, fruto de la acumulación, estudio y reelaboración de textos científicos a partir de trabajos anteriores validados por comités científicos expertos.

Inmediatamente se establece una posible reparación según el Código Técnico de la Edificación, para después estimar el presupuesto de dichas reparaciones.

Antes de finalizar realizamos un estudio basado en la cantidad de kg de CO₂ consumidos en la reconstrucción así como de la cantidad de huella ecológica consumida por edificio totalizándola a al área analizada.

Este trabajo se termina proponiendo una medida posible de compensación del excedente de huella de carbono debido a un terremoto (y no al ciclo de vida habitual), mediante la plantación de vegetación que absorba los kilogramos de CO₂ que estipula el Real Decreto 163/2014, por el que se crea el registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción de dióxido de carbono que se alinea con la Directiva 2012/27/UE.

Palabras clave: *daños, rehabilitar, reconstruir, compensar, huella de carbono.*

1. Introducción

En el siguiente trabajo se describen los daños estructurales y no estructurales más frecuentes de acuerdo a las tipologías edificatorias existentes en el área denominada Barrio de la Viña de Lorca tras el terremoto de 2011, cual sería su reparación cumpliendo la normativa vigente en materia de construcción, en este caso el Código Técnico de la Edificación y una ficha técnica, de manera sintética, del coste de las soluciones constructivas propuestas según su "tamaño unitario". Entendemos por tamaño unitario las dimensiones (kilogramos, metros, metros cuadrados, metros cúbicos...) medias de la zona afectada. Es decir, no se presupuestan todos los pilares del edificio sino uno sólo, no toda la fachada sino una grieta de tamaño medio, etc.

Esta documentación puede ser muy útil para detectar daños previos al terremoto, su reparación y coste y así mitigar el riesgo sísmico, pero también es interesante conocer qué huella de carbono se ha producido debido a la reparación de los daños y por tanto podremos conocer las medidas de compensación que se deberían introducir para equilibrar los kilogramos de CO₂ producidos en dichas reparaciones.

En las secciones que se describe el daño, el texto y las imágenes son fruto de la acumulación, estudio y reelaboración de textos científicos a partir de los trabajos de RISMUR, el informe sobre el terremoto de Lorca del IGN y el libro de efectos en los terremotos del Consorcio de Compensación de seguros.

Se menciona al autor del artículo, Miguel San Millán Escribano tal y como se establece en el artículo 32 de la Ley 1/92 de la Ley de Propiedad Intelectual pero se posiciona en segundo lugar por cuestiones estratégicas.

2. Metodología

Los daños encontrados con mayor número de recurrencia se pueden diferenciar según si son daños producidos en elementos estructurales o no, según su sistema constructivo (hormigón o mampostería) o si no son daños estructurales, según los elementos dañados. Al estudiar en el área denominada Barrio de la Viña vamos a estudiar sólo los edificios construidos en Hormigón Armado debido a que son los más frecuentes. Comenzamos describiendo los daños encontrados en las estructuras:

Daños estructurales

Los daños estructurales más comunes corresponden a edificios porticados de hormigón armado y edificios de mampostería no reforzada. Otro sistema estructural utilizado, aunque presente en menor medida, son los edificios con estructura metálica. También se encuentran

edificios de autoconstrucción, en los cuales se pueden encontrar mezclados los sistemas estructurales antes mencionados.

En general, en los edificios de hormigón armado se han observado daños estructurales de diferente severidad, que varían desde muy leves hasta colapso. La mayoría de los edificios de hormigón armado del área denominada Barrio de la Viña Lorca (Murcia) corresponden a un sistema de pilares y forjados planos.

Pueden identificarse los siguientes problemas constructivos (ver figura 1):

- 1) Falta de confinamiento de los pilares.
- 2) Pilares cortos y secuestrados.
- 3) Plantas bajas blandas.
- 4) Efecto del golpeteo.
- 5) Escaleras.

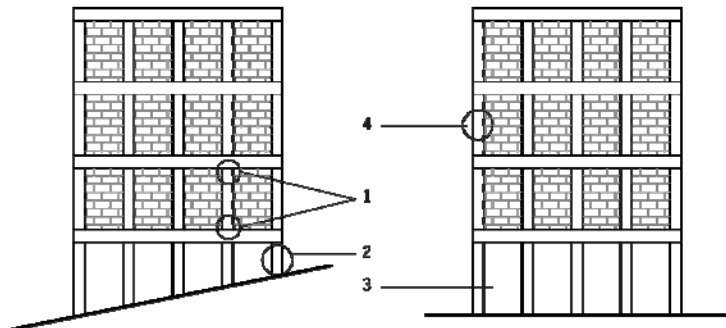


Figura 1. Problemas constructivos identificados en edificios de hormigón armado.

A continuación se describen los problemas derivados de estos sistemas constructivos.

- 1) Falta de confinamiento de los pilares:

Los daños en cabeza y base de pilares son frecuentes en los edificios en los que los pilares reciben directamente la acción del sismo. Estos daños se presentan con diferentes intensidades, de modo que se observan desde pilares fisurados o con pérdida de recubrimiento.

También se han observado daños en pilares debido a falta de armadura de transversal, tanto en la cabeza como en la base de los mismos, o que la distancia entre cercos era excesiva para esas zonas, con lo que no se producía el deseable efecto de confinamiento y no se impedía el pandeo de las armaduras verticales.

- 2) Pilares cortos:

La presencia de pilares cortos en los edificios puede ser la causa de grandes daños estructurales e, incluso, del colapso de las estructuras, debido al excesivo esfuerzo cortante al que están sometidos.

Los pilares cortos soportan una mayor carga sísmica, por lo que están sometidos a mayores esfuerzos, especialmente cortantes. Como consecuencia, sufrirán daños mayores que los pilares de mayor longitud.

Diversas situaciones propician la existencia de pilares cortos, por ejemplo, edificios que descansan sobre un terreno inclinado, los entresuelos añadidos entre dos plantas regulares o los pórticos con muros de relleno de altura parcial.

Plantas baja blandas:

Se producen cuando existe una acusada diferencia de rigideces entre una planta y sus superiores. Los cambios de son consecuencia de:

- Motivos geométricos: Las plantas bajas suelen ser más altas, lo que resulta en pilares más esbeltos y por ello menos rígidos.

- Participación de la tabiquería: En edificios destinados a vivienda, las plantas con ese uso suelen estar densamente compartimentadas con tabiquería, a diferencia de las plantas bajas de uso comercial o cocheras que suelen estar abiertas y diáfanas, provocando cambios de rigidez por la participación de la albañilería.

3) Efecto golpeteo:

Cuando dos o más edificios adyacentes están muy cercanos la vibración de un terremoto fuerte puede hacer que estos se golpeen mutuamente. Si estos edificios son de diferente altura y sus plantas no coinciden, las plantas y el techo del edificio más bajo pueden golpear a media altura los pilares del edificio más alto, lo que suele causar daños importantes. Los daños constructivos por golpeteo suceden porque el espacio que se deja entre los edificios es insuficiente para que los mismos puedan desplazarse lateralmente sin perjudicarse (Figura 2).

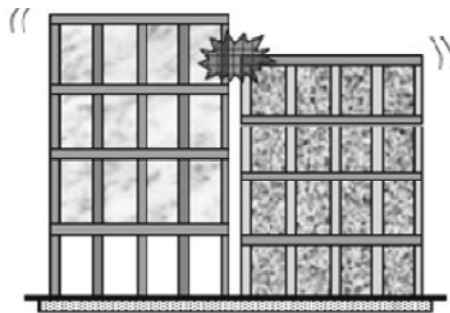


Figura 2. Daños por el efecto golpeteo.

4) Escaleras:

Se han detectado escaleras con importantes daños debidos a que la disposición del armado no era correcta y no se respetado las longitudes mínimas de anclaje y/o solapes. También se han encontrado deficiencias en los apoyos.

Procedimiento de Cálculo de la Huella de Carbono:

Para calcular la huella de Carbono en cada edificio según su grado de daño (EMS98) se ha realizado el siguiente procedimiento de cinco pasos:

1. Para el cálculo de las cantidades de materiales empleados, del precio y del importe final para la reconstrucción o rehabilitación de los daños anteriormente narrados, se ha utilizado la Base de Precios Centro del Colegio de Aparejadores de Guadalajara.
2. A partir de estos datos se ha obtenido la huella de carbono mediante la conversión en kilogramos de los materiales empleados. Para esto se ha utilizado la tabla de cálculo de huella de carbono del Servicio Espacio Público, Urbanismo y Sostenibilidad del Ayuntamiento de L'Hospitalet del Llobregat.
3. Posteriormente se han repartido los tipos de daños a cada edificio en función de su grado de daño utilizando los parámetros urbanísticos de la tesis doctoral de Sandra Martínez Cuevas(2013).
4. Más adelante se han relacionado los daños presupuestados en este artículo con cada grado de daño según la EMS98 mediante una media de las relaciones que se utilizan en diferentes países ya que existe la tendencia a relacionar los grados de daño con un índice o porcentaje de daño global de la estructura. Estas relaciones son esencialmente subjetivas y se utilizan en los estudios post-terremotos. Están estrechamente ligadas a la definición del daño de la escala macrosísmica empleada. A continuación, en la Tabla 1, se muestran algunas relaciones adoptadas en algunos países (Yépez, 1996). Así como la media empleada:

Tabla 1. Relaciones adoptadas entre los Grados de Daño (GD) por diferentes países.

GD	Rumany	Yugoslav	MSK 64	Bulgary	China	USA	MSk 76	Average
1	4	0	2	5	20	1	20	7,42
2	16	6	10	20	40	20	40	21,71
3	36	25	30	40	60	40	60	41,57
4	64	56	80	80	80	80	80	74,28
5	100	100	100	100	100	100	100	100

5. Finalmente se representan gráficamente dos datos que concluyen el artículo:
 - el primero de ellos es la cantidad de huella de carbono obtenida según la Huella Ecológica Comparada en España (Wadel, 2012)
 - el segundo de los datos es la superficie de área verde necesaria para compensar la huella que producen dichas actuaciones en materia de rehabilitación o de reconstrucción según Oficina Española de Cambio Climático (OECC) del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente Español.

3. Resultados

Los resultados obtenidos responden a la metodología empleada. Tras estudiar los daños en cada edificio en el área denominada Barrio de la Viña de Lorca, se procedió a calcular el presupuesto de cada tipo de daño obteniendo estos resultados de manera resumida con la salvedad que no se han tenido en cuenta las medidas de seguridad propias de una obra de rehabilitación (andamios, guirnaldas, parapetos...) debido a que la localización de los daños en el edificio es muy diversa y complicaría el cálculo de estos presupuestos. A continuación se describe y plantea la solución de manera resumida:

Daños estructurales hormigón armado

1) Falta de confinamiento en los pilares 0.25x0.25x3 m³

Soluciones presupuestadas:

- Pilares cuadrados con encamisado de hormigón
- Pilares apantallados con presillas metálicas
- Pilares con camisa de chapa y relleno de mortero inyectado

Según las medidas indicadas, el coste total de ejecución material asciende a 260,15 euros.

2) Pilares cortos 0.3x0.25x0.5 m³

Lo más recomendable para los pilares cortos en semisótano es prolongar los muros de sótano hasta su unión con el forjado de planta baja. Si fuera necesario abrir huecos para la ventilación, la longitud de éstos no debe ser superior a 1/3 de la longitud total.

En este caso, la longitud de los pilares es bastante inferior a la de un pilar convencional, por lo que toda la altura del pilar corto debe ser considerada como zona de transferencia armada con una cuantía de cercos capaz de confinar el pilar corto existente. Es decir, la longitud de transferencia es igual a la altura del pilar.

Solución presupuestada:

Prolongar los muros de sótano hasta su unión con el forjado de planta baja. Si fuera necesario abrir huecos para la ventilación, la longitud de éstos no debe ser superior a 1/3 de la longitud total.

Según las medidas y solución indicada, el coste total de ejecución material asciende a 100,82 euros.

3) Reparación efecto del golpeteo 1x12m²

Este daño, para estas estructuras existentes es difícil de evitar en futuros eventos sísmicos, porque hace falta una distancia entre edificios que no existe. Unas de las pocas reparaciones

posibles es dar robustez al pilar dañado con un encamisado metálico o cualquier otro sistema que minimice el efecto del impacto inevitable.

Solución presupuestada:

Dar robustez al pilar dañado con un encamisado metálico o cualquier otro sistema que minimice el efecto del impacto inevitable.

Según las medidas y solución indicada, el coste total de ejecución material asciende a 286,35 euros.

4) Planta blanda 0.25x0.25x3.5 m³

Solución presupuestada:

Diagonalizar los pórticos mediante tirantas (pilares diagonales) de acero. Reforzar los nudos.

Según las medidas y solución indicada, el coste total de ejecución material asciende a 273,19 euros.

Escaleras 2x5 m²

Los daños detectados en las escaleras tienen su origen en una disposición incorrecta del armado o en escasas longitudes de anclaje de las barras. Ante este tipo de daños, se debe plantear la posibilidad de una demolición local del elemento afectado y reconstrucción del mismo dando cumplimiento a la normativa vigente.

Algunas escaleras se han reparado adosando una estructura metálica de refuerzo sobre la que se apoya la estructura original. No siempre se ha podido determinar el esquema de apoyo utilizado.

Solución presupuestada:

Adosar una estructura metálica de refuerzo sobre la que se apoya la estructura original.

Según las medidas y solución indicada, el coste total de ejecución material asciende a 415,55 euros.

En el gráfico XX del poster se puede apreciar que el mayor presupuesto económico empleado para rehabilitar se produce en los edificios con mayor grado de daño.

En el estudio de la cantidad de kg de CO₂ consumidos en la reconstrucción así como de la cantidad de huella ecológica consumida por edificio, se observa esta correspondencia anteriormente citada, a mayor presupuesto de reparación empleado, mayor kilogramos de

material transportado e instalada y por tanto mayor huella de carbono producida medida en kilogramos de CO₂.

Basándonos en la Directiva 2012/27/UE se propone una medida posible de compensación del excedente de huella de carbono debido a un terremoto (y no al ciclo de vida habitual), mediante la plantación de vegetación que absorba los kilogramos de CO₂ basándonos en las dimensiones que estipula el Real Decreto 163/2014. De nuevo, encontramos una relación directa entre el grado de daño (EMS98) y cantidad de superficie verde a replantar (de compensación) debido a que esta última es función de las cantidades de materiales instalados en los edificios reparados. Así, a mayor grado de daño (EMS98), mayor superficie verde de compensación a replantar.

4. Conclusiones

Se pueden presentar los *daños* causados por el terremoto de Lorca (Murcia, España) en el área denominada Barrio de la Viña, en una visualización tridimensional de la clasificación de daños según la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) así como la relación con la planta baja blanda. Sería interesante poder establecer más relaciones con otros parámetros urbanísticos relacionados con los daños en los edificios (Martínez, 2013).

Se pueden estimar las cantidades de recursos empleados para rehabilitar o reconstruir los edificios dañados y por último se muestran cómo compensar la huella de carbono consumida por la rehabilitación o reconstrucción de los edificios dañados. Sería interesante obtener datos reales a través del Consorcio General de seguros de España para ser más preciso en la obtención de los resultados.

Además de establecer una posible reparación según el Código Técnico de la Edificación, para después estimar el presupuesto de dichas reparaciones, en un siguiente estudio podrían compararse alternativas tecnológicamente más avanzadas y resistentes.

El estudio basado en la cantidad de kg de CO₂ consumidos en la reconstrucción así como de la cantidad de huella ecológica consumida por edificio totalizándola al Barrio de la Viña debería realizarse a toda la ciudad para conocer realmente el impacto medioambiental que supone un terremoto.

Existe una relación directa entre el grado de daño (EMS98) y cantidad de superficie verde a replantar (de compensación) debido a que esta última es función de las cantidades de materiales instalados en los edificios reparados por lo que podría plantearse un catálogo comparativo de medidas de compensación del excedente de huella de carbono debido a un terremoto (y no al ciclo de vida habitual) según el Real Decreto 163/2014 y la Directiva 2012/27/UE.

Bibliografía

Directiva 2012/27/ue del parlamento europeo y del consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE

R.D.163/2014. Registro de huella de carbono, compensación y proyectos de absorción. Oficina Española de Cambio Climático (OECC). Subdirección General de Coordinación de acciones frente al Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

ISO/TS 14067: 2013 partes 1 y 2. Huella de Carbono de productos. Calculo.

Martínez Cuevas, Sandra, (2013). "Evaluación de la vulnerabilidad sísmica urbana basada en tipologías constructivas y disposición urbana de la edificación. Aplicación en la ciudad de Lorca. Región de Murcia" UPM.

Clark, David. (2013). "What Colour is your Building?: Measuring and reducing the energy and carbon footprint of buildings". RIBA Publishing. ISBN: 9781859464472

PAS 2050:2008 Verificación de la Huella de Carbono. British Standards Institution.

Código Técnico de la Edificación (CTE) establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de Ordenación de la Edificación (LOE).

Álvarez Cabal, R., Díaz-Pavón Cuaresma, E. and Rodríguez Escribano, R. (2013). "El terremoto de Lorca. Efecto en los edificios". Editado por el Consorcio de compensación de seguros. Madrid.

Guía para la definición de una estrategia antisísmica en el proyecto de edificios de nueva planta (2012). Consejería de obras públicas y ordenación del territorio. Comunidad Autónoma de Murcia. ISBN: 978-84-87138-67-6. 36 pp.

Guía para la restitución de la capacidad frente al sismo de elementos estructurales, tabiques, cerramientos, petos y escaleras de edificios dañados en el sismo de Lorca (2012). Consejería de obras públicas y ordenación del territorio. Comunidad Autónoma de Murcia. ISBN: 978-84-87138-71-3. 68pp.

Guía de inspección y evaluación en situación de emergencia de daños debidos al sismo en edificios (2012). Consejería de obras públicas y ordenación del territorio. Comunidad Autónoma de Murcia. ISBN: 978-84-87138-71-3. 46 pp.

Informe del sismo de Lorca del 11 de mayo de 2011 (2011) Instituto Geográfico Nacional, Universidad Complutense de Madrid, Universidad Politécnica de Madrid, Instituto Geológico y Minero de España y Asociación Española de Ingeniería Sísmica 129 pp.

Informe sobre estudio y desarrollo de metodologías para la estimación de la vulnerabilidad de construcciones frente a solicitaciones sísmicas y de inspección de edificaciones afectadas por terremotos (2005). Ministerio del Interior de España. Dirección General de Protección Civil. Madrid. CEDEX 13-403-7-003.

RISMUR (2006). IGN, Riesgo Sísmico de la Región de Murcia.

Agradecimientos

Al Staff de la Fundació Mapfre.

A Sergi Lopez-Grado Padreny, Arquitecto y al equipo del Servicio Espacio Público, Urbanismo y Sostenibilidad del Ayuntamiento de L'Hospitalet del Llobregat por la elaboración de la ficha de cálculo de huella de carbono en edificación.

A Pablo Rodríguez Herránz de la Asociación Sostenibilidad y Arquitectura ASA.